



CARACTERITZACIÓ HÍDRICA DELS PARCS DE BARCELONA.

INFORME FINAL

OCTUBRE 2017

AUTORS:

Fran García Ruíz, Dr. Enginyer Agrònom.

Víctor Falguera Pascual, Dr. Enginyer Agrònom.

Francisco Fonseca Salcedo, Dr. Enginyer Agrònom.

Joan Lordan Sanahuja, Dr. Enginyer Agrònom.

Victor Montilla Prieto, Enginyer Forestal.

Josep Papió Toda, Enginyer Agrònom.

NOTES:

El present informe es realitza prèvia petició de *Barcelona Cicle de l'Aigua, S.A.* amb la finalitat d'elaborar un informe tècnic. Algunes de les dades han estat proporcionades pel propi client.

ÍNDEX

1. OBJECTIUS	1
2. MATERIAL I MÈTODES	1
2.1. LOCALITZACIÓ	1
2.2. DESCRIPCIÓ DE L'ESTUDI	2
2.3. VARIABLES ESTUDIADAES	3
2.3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓ DE REFERÈNCIA	3
2.3.2. ESTAT HÍDRIC DE LES ESPÈCIES	4
2.3.3. CONTINGUT D'AIGUA AL SÒL	5
2.3.4. DOSIS DE REG	6
3. RESULTATS I DISCUSSIÓ	8
3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓ DE REFERÈNCIA	8
3.2. ESTAT HÍDRIC DE LES ESPÈCIES	8
3.3. COEFICIENTS DE CONSUM DE LES ESPÈCIES	14
4. RECOMANACIONS DE GESTIÓ DEL REG	21

1. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest estudi és el de calcular les necessitats hídriques per a diferents espècies de vegetació que es troben en parcs i jardins de Barcelona. Així mateix, s'estipulen els següents objectius específics:

1. Determinar els coeficients de cultiu (K_c) de les següents espècies vegetals:
 - a. Gespes: C3 en zona solejada; C3 en zona ombrívola; C4 en zona solejada.
 - b. Arbusts: *Viburnum tinus*; *Cotoneaster horizontalis*; *Pistacia lentiscus*.
 - c. Arbres: *Platanus x hispanica*; *Pinus pinea*; *Cercis siliquastrum*.
2. Determinar els consums màxims de les espècies i comunitats vegetals estudiades.
3. Determinar el procediment de càlcul de comunitats vegetals presents en Parcs i Jardins de la ciutat de Barcelona.
4. Avaluar l'eficiència de reg de Parcs i Jardins de la ciutat de Barcelona.

2. MATERIAL I MÈTODES

2.1. LOCALITZACIÓ

L'estudi s'ha realitzat en diverses localitzacions. La presa de dades en relació a les diferents espècies vegetals s'ha dut a terme en el *Parc Mirador del Poble Sec*, *Jardins Hortes de Sant Bertran*, i *Parc Cims de Montjuïc*. La presa de dades meteorològiques s'ha dut a terme a través d'una estació meteorològica automatitzada localitzada al *Viver Tres Pins* (Figura 1).

Existeixen diferents capes/polígons de vegetació:

- 1- Gespa: composta per gessos C3 exposada al Sol.
- 2- Floral: composta per parterres de flor ornamental exposats al Sol.
- 3- Arbre: composta per arbres exposats al Sol, i arbusts i gessos exposades a l'ombra.
- 4- Arbust: compost per tanques vegetal de marfull exposades al Sol.



Figura 1. Localització de l'estudi realitzat. (Arbrat, gespa y arbust)

2.2. DESCRIPCIÓ DE L'ESTUDI

L'estudi es divideix en dues fases. La primera es centra en la recopilació de dades de camp. La segona es centra en el tractament i estudi de les dades recopilades i en l'elaboració de l'informe.

La primera fase es va iniciar el 12-07-2017 i es va dur a terme:

- i) la instal·lació i configuració d'equips de mesura en les diferents localitzacions de l'estudi.

- ii) l'inici de les mesures fisiològiques en les diferents espècies vegetals. La primera fase va tenir una durada aproximada de 8 setmanes, i es va donar per finalitzada el dia 18-09-2017.

La segona fase es va iniciar el dia 18-09-2017 i es va dur a terme:

- i) l'estructuració i tractament de les dades adquirides.
- ii) la redacció de l'informe tècnic. La segona fase va tenir una durada aproximada de 6 setmanes, i es va donar per finalitzada el dia 31-10-2017.

L'estudi de variables fisiològiques es va realitzar en diferents espècies vegetals localitzades en els parcs de *Parc Mirador del Poble Sec* (arbres i arbusts), *Jardins Hortes de Sant Bertran* (arbres, arbusts i gespes), *Parc Cims de Montjuïc* (gespes). Es van estudiar les següents espècies vegetals:

- a. Gespes: C3 en zona solejada; C3 en zona ombrívola; C4 en zona solejada.
- b. Arbusts: Marfull (*Viburnum tinus*); cotoneàster (*Cotoneaster horizontalis*); llentiscle (*Pistacia lentiscus*).
- c. Arbres: plataner (*Platanus x hispànica*); pi pinyoner (*Pinus pinea*); arbre de l'amor (*Cercis siliquastrum*).

2.3. VARIABLES ESTUDIADAES

2.3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓ DE REFERÈNCIA

Per a l'estudi de l'evapotranspiració de referència (ET_o) es va procedir a instal·lar una estació meteorològica total i automatitzada al *Viver Tres Pins*. L'ET_o és una de la variables que estimar el consum hídric de diferents espècies vegetals a través de l'aplicació del mètode del balanç hídric (FAO, 2006).

L'estació meteorològica disposa dels següents elements:

- Anemòmetre de veleta (Davis Cup Anemometer, Decagon Devices Inc., Washington St., EUA).
- Sensor de temperatura, humitat relativa i pressió atmosfèrica (VP4, Decagon Devices Inc., Washington St., EUA).

- Pluviòmetre (Pronamic ApS DK-6950 Rain-O-Matic, Decagon Devices, Inc., Washington St., EUA).
- Sensor de radiació solar (PYR, Decagon Devices, Inc., Washington St., EUA).
- Registrador de dades GPRS solar (Datalogger EM50G Solar, Decagon Devices, Inc., Washington St., EUA).

2.3.2. ESTAT HÍDRIC DE LES ESPÈCIES

L'estat hídric de les espècies va ser avaluat en base a dues metodologies diferents:

- i) Mesura del potencial hídric de tija (arbres i arbusts);
- ii) Temperatura de coberta vegetal (gespes i arbusts).

El potencial hídric de tija (*stem wàter potential*, SWP) es va mesurar al migdia solar (12 p.m.) amb una cambra Scholander (Model 600, PMS Instrument Co., Oregon, EUA), en 3 individus per espècie en els arbres i arbusts objecte d'estudi. Es van realitzar les mesures els dies 19-07-2017; 27-07-2017; 03-08-2017; 10-08-2017; 16-08-2017; 24-08-2017; 01-07-2017; 07-09-2017 i 14-07-2017.

La temperatura de coberta vegetal es va mesurar al migdia solar amb una càmera termogràfica (OPTRIS PI400, Optris GmbH, Berlin, Germany). La mesura es va realitzar a uns 50 cm de distància en les cobertes vegetals de gespes i arbusts objectes d'estudi (donant un zona de mesura d'uns 40x20 cm), i a més, algunes fulles dels arbusts es van fotografiar a 10 cm de distància per tenir més detall. Les mesures en gespa es van fer en una zona assolellada i en una zona coberta per arbres, amb ombra contínua durant tot el dia, i en presència de pinassa. Les mateixes condicions de sol i ombra es van succeir amb *Viburnum tinus* i únicament es van prendre dades en condicions d'ombra en *Cotoneaster horizontalis* i *Pistacia lentiscus*. A la zona del Parc Cims de Montjuïc es van prendre dades sobre la mateixa espècie de gespa (Gespa C4) en diferents estats: densa (la gespa cobria totalment el sòl) i assolellada, densa i ombrívola, i poc densa i assolellada (en aquest cas es veien zones de sòl). Es van realitzar les mesures els dies 19-07-2017; 27-07-2017; 03-08-2017; 10-08-2017; 16-08-2017; 24-08-2017; 01-07-2017; 07-09-2017 i 14-07-2017.

Durat els diferents dies de presa de mostra es van observar diferents estats de la vegetació degut al manteniment de les gespes per part dels operaris. Les diferents situacions que es van observar son: gespa en estat normal, gespa recent tallada (amb els residus del tall encara frescs sobre la gespa), gespa alta i espigada, gespa acabada de regar (amb aigua lliure sobre les fulles). Aquests estats de la gespa poden influir en el resultat de les dades de temperatura tot i que es va intentar que les mesures fossin en estats el més homogenis possible.



Figura 2. Estat de la gespa a la zona del Parc Cims de Montjuïc.

2.3.3. CONTINGUT D'AIGUA AL SÒL

Per tal de realitzar el seguiment del contingut d'aigua al sòl i relacionar-lo amb el potencial hídric, es van instal·lar sondes d'humitat de capacítàcia (10HS, Decagon Devices, Inc., Washington St., EUA). Es van instal·lar dos (2) sondes a 30 i 60 cm de profunditat. Les sondes es van connectar a un *datalogger* GPRS (EM50G, Decagon Devices, Inc., Washington St., EUA) que registrava les dades de forma continua. Es van instal·lar tres (3) punts de seguiment a les gespes objecte d'estudi. Cal considerar un temps d'estabilització de les noves sondes després de la seva instal·lació, per tal que es restableixi de nou l'estructura del sòl, les noves arrels ocupin el nou volum de sòl pròxim a les sondes, i que en definitiva es consideren les mesures com a fiables.

El període d'estabilització depèn del règim d'humitat del sòl, de les propietats físiques del sòl, i de les espècies que hi són cultivades. Cal estudiar el comportament i dinàmica de les sondes d'humitat per tal de poder establir-lo. S'estableix en aquest cas un període d'1 setmana després de la seva instal·lació. Tenint en compte que la seva instal·lació es va efectuar al 19-07-2017, es consideren en l'estudi les mesures realitzades a partir del 26-07-2017.

2.3.4. DOSIS DE REG

Per tal de poder ajustar els coeficients de cultiu és important conèixer les dades de reg de les zones estudiades. No es disposava de cap cabalímetre o comptador volumètric d'aigua per aquesta finalitat però s'ha pogut estimar una dosi de reg a partir del càlcul del temps de reg aplicat (programació de regs facilitada per BCASA; Taula 1) i de la pluviometria del sistema de reg (calculat en 20 mostres per parc durant un temps de reg de 10 minuts).

El Parc Hortes de Sant Bertran disposava de sistema de reg per aspersió, amb una pluviometria del sistema de reg de $12,53 \pm 7,2$ mm. La pluviometria del sistema de reg és molt variable dins dels sectors de reg, fet que fa que la dosi d'aigua dins del mateix sector sigui diferent per a les diferents espècies i individus presents. El Parc Cims de Montjuïc disposava de sistema de reg per aspersió, amb una pluviometria del sistema de reg de $9,00 \pm 2,6$ mm.

Taula 1. Programació del reg al Parc Jardins Hortes de Sant Bertran. Dades proporcionades per BCASA.

JARDINS DE LES HORTES DE SANT BERTRAN		
Programador SAMCLA 38 Proper Pg. Josep Carner	Dies de reg	Minuts
EV1 - parterre d'arbustiva entorn àrea de gossos	DI. Dm. Dc. Dv.	30
EV2 - parterre de gespa i grup de flor cantonada Pg. Montjuïc	DI. Dm. Dc. Dv.	40
EV3 - parterre de gespa cantonada Vila i Vilà	DI. Dm. Dc. Dv.	30
Programador SAMCLA 39 Proper al carrer Carrera		
EV1 - parterre de gespa	DI. Dc. Dv.	20
EV2 - parterre d'arbustiva	DI. Dc. Dv.	20
Programador SAMCLA 40 Proper zona jocs infantils		
EV1 - parterre de gespa proper al Pg. Montjuïc	DI. Dm. Dc. Dv.	30

EV2 - parterre d'arbustiva proper al Pg. Montjuïc	DI. Dm. Dc. Dv.	30
EV3 - parterre de gespa proper al carrer Vila i Vilà	DI. Dm. Dc. Dv.	20
EV4 - parterre d'arbustiva proper al carrer Vila i Vilà	DI. Dm. Dc. Dv.	30

La dosi de reg teòrica aportada a la zona on es trobava ubicada l'estació de mostreig del sòl núm.1 (C3 en zona solejada) era de 33,41 mm/setmana, mentre que en el punt núm. 2 (C3 en zona ombrívola) era de 25,06 mm/setmana. Respecte al punt núm. 3 (C4 en zona solejada), no es disposa d'informació de programació de reg.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

3.1. EVAPOTRANSPIRACIÓ DE REFERÈNCIA

El seguiment de l'estació meteorològica durant el període d'estudi ha permès calcular l'evapotranspiració de referència (ET_o) en la zona objecte d'estudi (Figura 3). L'ET_o mitjana durant el període d'estudi (19-07-2017 al 14-09-2017) va ser de 4,37 mm/dia, amb un màxim de 6,09 mm/dia (06-08-2017) i un mínim de 1,82 mm/dia (01-09-2017). Cal recordar que el juliol de 2017 va ser especialment càlid i sec, assolint records històrics de temperatura màxima i amb un període marcat per l'absència de precipitacions destacades.

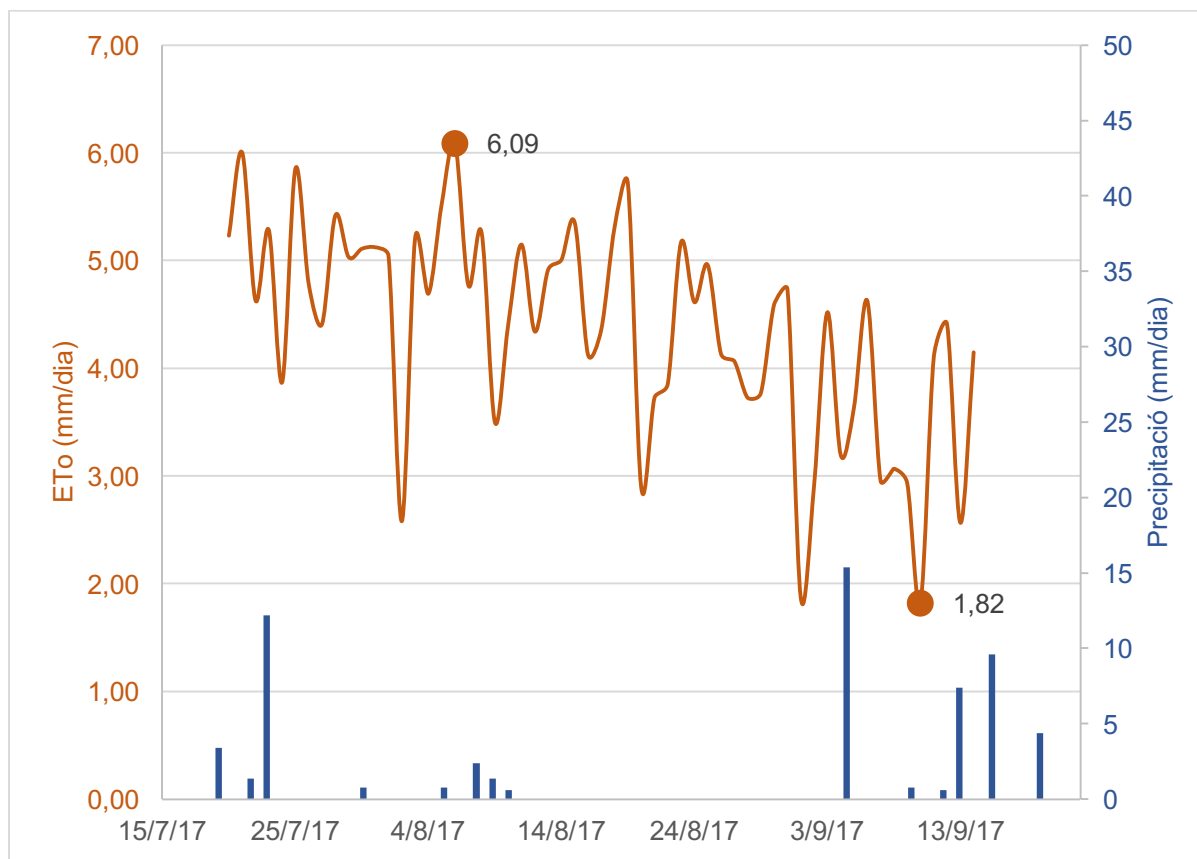


Figura 3. Evolució de l'ET_o (mm/dia) i de la precipitació (mm/dia) durant el període d'estudi.

3.2. ESTAT HÍDRIC DE LES ESPÈCIES

La Figura 4 mostra la evolució del potencial hídric de tija promig (SWP) per a les espècies d'interès. Si bé cal remarcar que el llindar d'estrès hídric és variable entre

espècies sí que s'observa un període en el que l'estrès augmenta de forma considerable (del 03-08-2017 al 23-08-2017).

El gràfic superior de la Figura 4 mostra l'evolució del SWP per les espècies arbòries, i l'inferior per les arbustives.

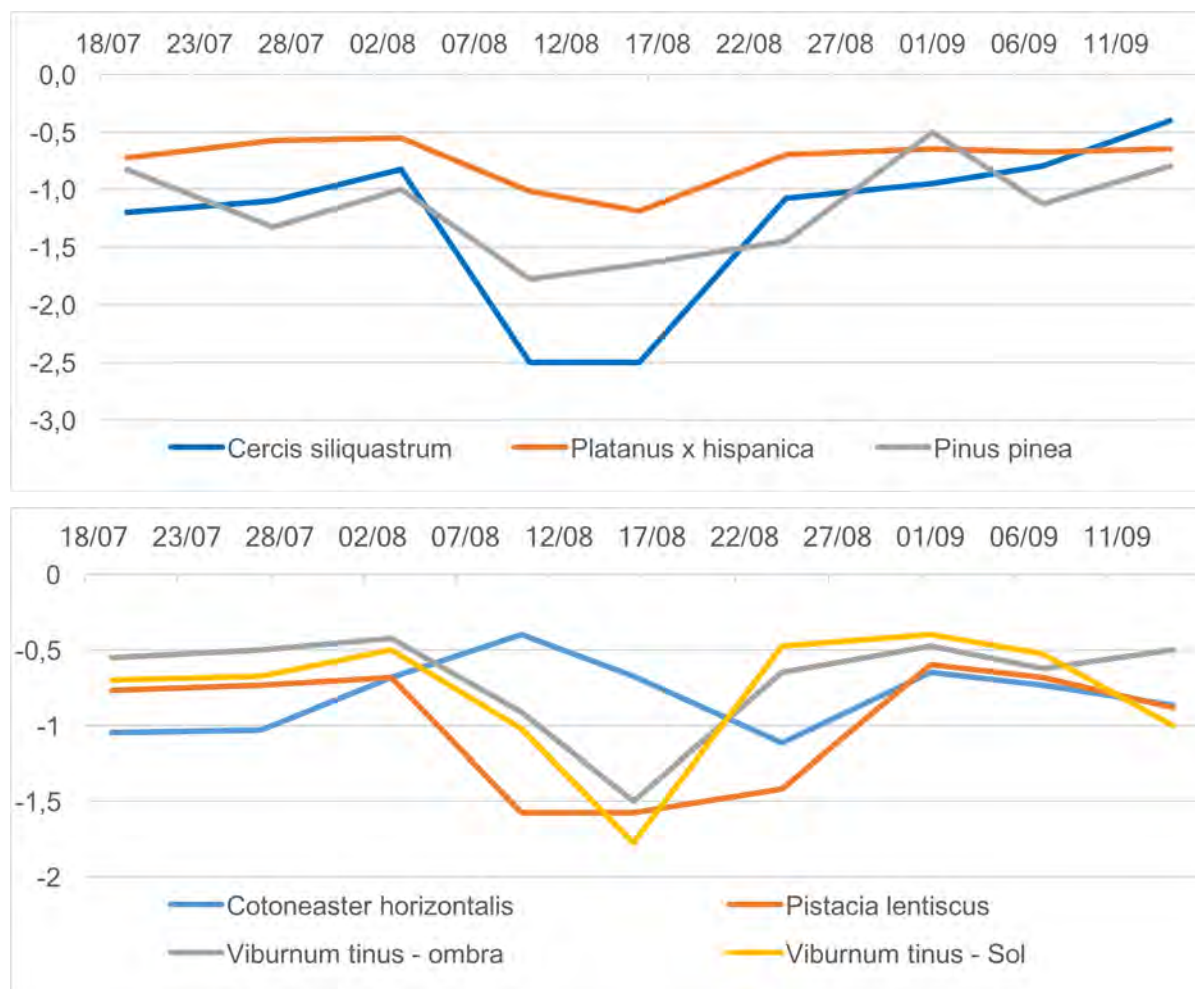


Figura 4. Evolució del SWP en les diferents espècies estudiades.

D'entre les espècies estudiades, els individus pertanyents a *Cercis siliquastrum* són els que van assolir potencials hídrics més baixos (-2,5 MPa), suggerint símptomes d'estrès més acusats en comparació amb la resta. Els individus pertanyents a les espècies *Pinus pinea*, *Platanus x hispanica* i *Cotoneaster horizontalis* son les que mostraren potencials hídrics de tija més alts, mostrant un bon comportament.

Aquests fets no tenen per què significar una millor o pitjor adaptació a l'estrès hídric entre espècies, sinó que cal considerar les condicions específiques dins de l'estudi en qüestió. Així, cal remarcar que els individus estudiats de *Pinus pinea* i

Platanus x hispanica eren individus adults, amb una gran massa aèria i molt probablement una gran massa radicular. Això significa que, molt probablement, el volum de sòl explorat per la part radicular fos molt gran en aquestes espècies, facilitant per tant l'absorció d'aigua i per tant minimitzant els símptomes davant un possible episodi d'estrès hídric. En relació als individus de *Cotoneaster horizontalis* cal remarcar que molts d'ells es trobaven en zones ombrívols, on la demanda hídrica és més baixa en comparació amb zones assolellades.

La Figura 5 mostra l'evolució del potencial hídric de tija (SWP) mitjà de les espècies estudiades conjuntament amb l'evolució del contingut d'aigua al sòl en un dels punts estudiats (C3 en zona assolellada) a 30 i 60 cm de profunditat.

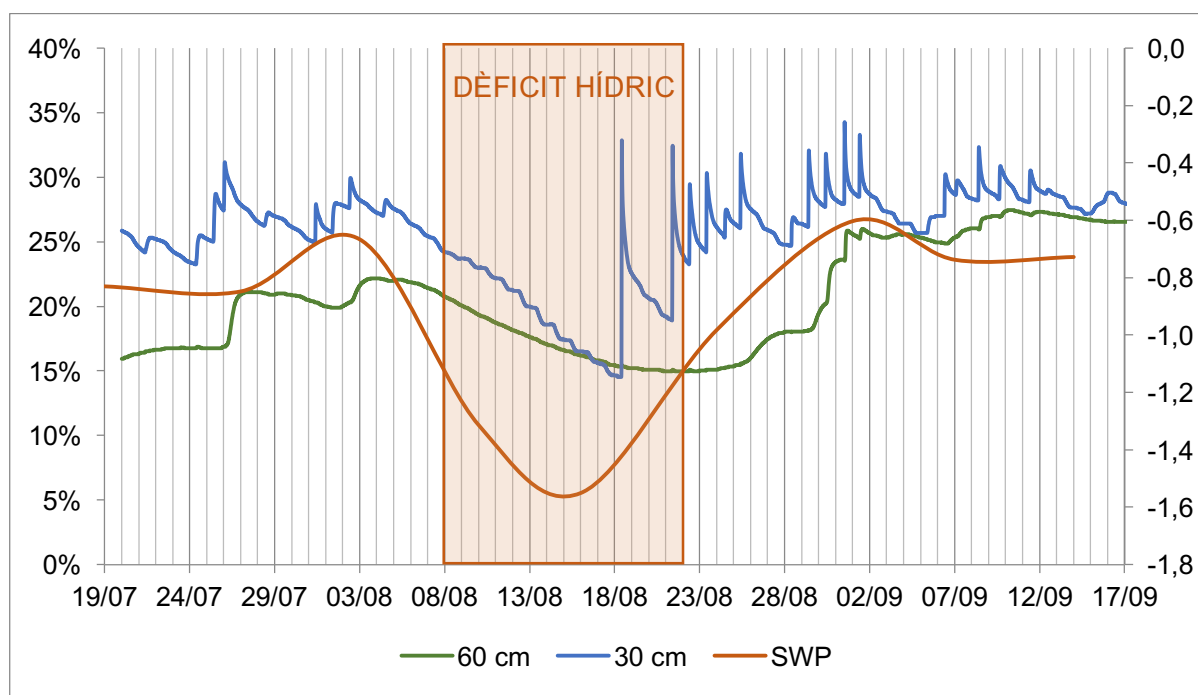


Figura 5. Evolució del contingut d'aigua al sòl i del SWP promig de les espècies estudiades durant el període d'estudi.

S'observa com el període de més baix contingut d'aigua al sòl coincideix amb el període de màxim estrès hídric (SWP més baix). A partir de les imatges tèrmiques dels arbustos i la gespa (en zona ombrívola i en zona assolellada), s'ha estudiat l'efecte d'aquest estrès hídric sobre la planta i la seva expressió en la temperatura del cultiu. Les imatges tèrmiques tenen la particularitat de poder captar la temperatura

real emesa per qualsevol cos que es trobi en la línia de visió del sensor. En cadascun dels píxels de la imatge es registra la temperatura, i d'aquesta manera se'n poden extreure valors estadístics i fer comparacions a posteriori durant l'anàlisi de gabinet. Les imatges es poden visualitzar en diferents paletes de colors que permeten una discriminació més clara de les zones a analitzar (Figura 6)

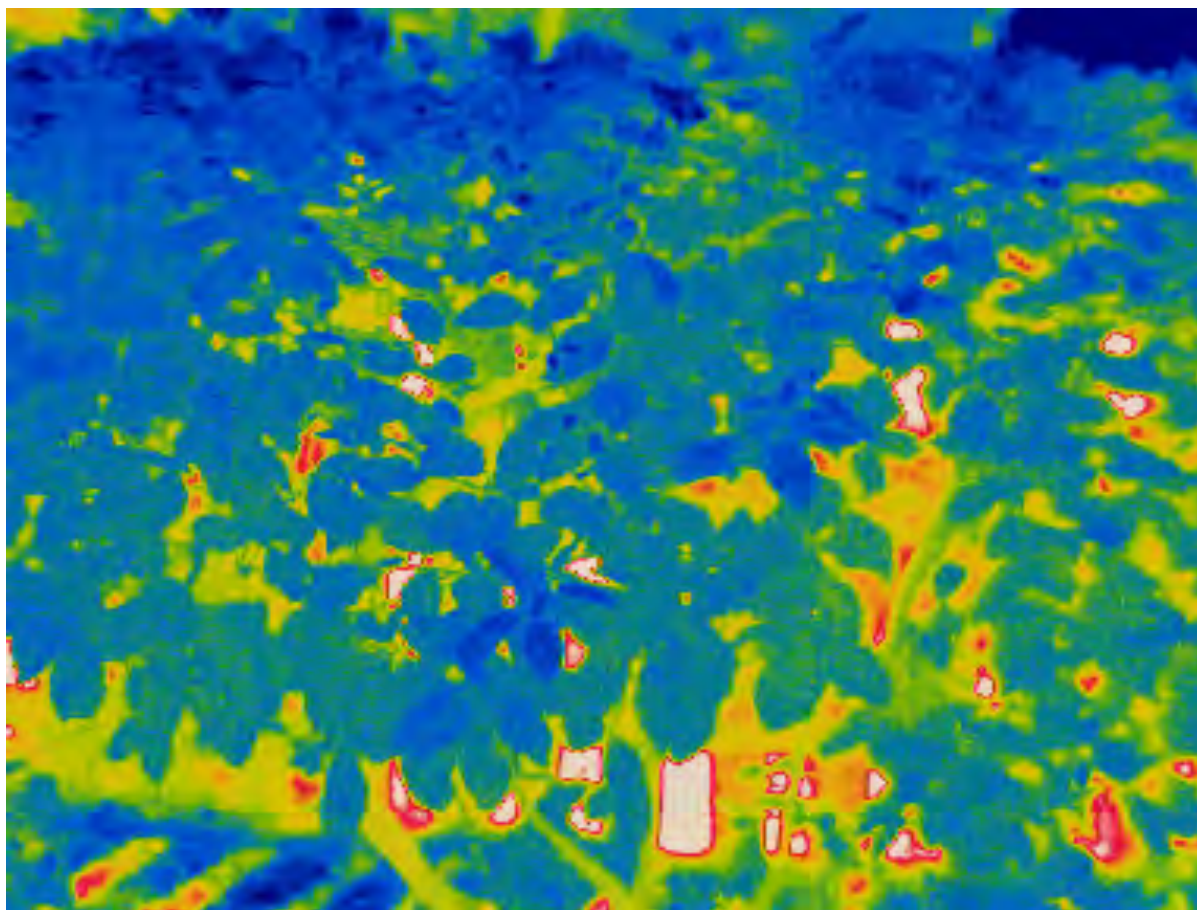


Figura 6. Imatge tèrmica del *Viburnum Tinus* en condicions d'ombra (zones blaves corresponen a zones més fredes, mentre que les zones vermelles corresponen a les zones més calentes de l'imatge)

Teòricament, una planta sotmesa a estrès hídric, modifica la seva taxa de transpiració i s'autorregula mitjançant el tancament dels estomes. Això fa que la fulla vegi augmentada la temperatura de forma significativa. Els resultats d'aquest estudi mostren que la temperatura de la vegetació està relacionada amb la temperatura ambient, però també estretament lligada amb el potencial hídric de fulla causat en aquest cas per la falta d'aigua al sòl. Durant el mes d'agost (moment de major estrès hídric) la temperatura d'aquelles espècies de gespa i arbust que estaven en plena

exposició al sol va ser 10,4 °C de mitjana més elevada que aquelles espècies que es trobaven sota ombra (Figura 7). Les diferents oscil·lacions que presenten totes les espècies durant el mes de setembre és deguda a les diferents condicions d'insolació dels dies en que es van prendre les lectures, essent el dia 07/09/17 el dia més assolellat. L'augment sobtat de la temperatura de la gespitosa C3 al sol pot ser degut a que hi havia presència de fulles seques d'algun arbre al terra, i la influència de la temperatura elevada d'aquestes pot haver distorsionat la mitjana de la temperatura de la gespa.

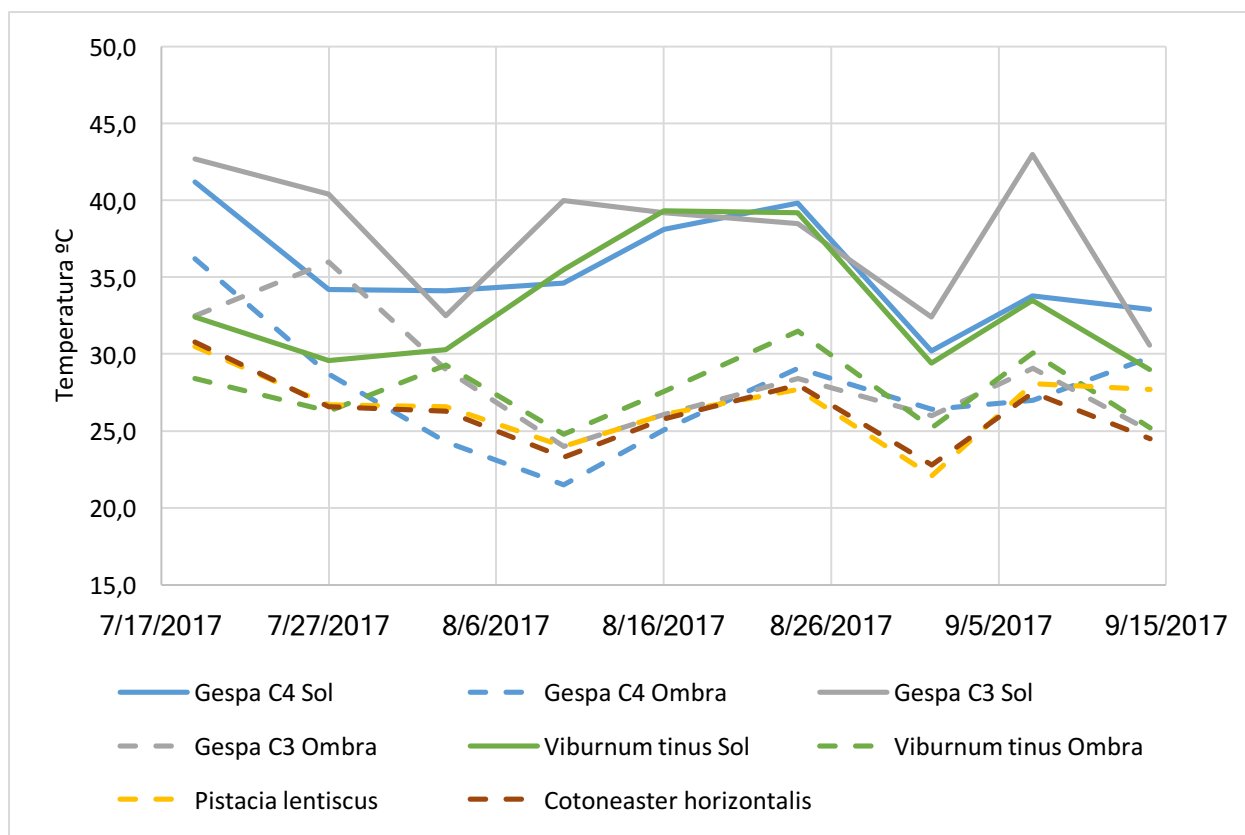


Figura 7. Gràfic d'evolució de la temperatura mitjana del cultiu

Les sondes d'humitat van mostrar un període sense reg, entre el 05-08-2'17 i 18-08-2017 fet el qual va afectar a l'estat hídric de les espècies presents. L'efecte no només va ser patent a nivell fisiològic sinó que es van observar defoliacions acusades en individus de *Platanus x hispanica* i *Cercis siliquastrum* i de sequera i necrosis en les espècies gespitoses presents. Cal considerar que a més aquest fenomen va coincidir amb un període d'alta demanda hídrica (ETo màxima).

La Figura 8 mostra que el dia 16-08-2017 es va observar el SWP més desfavorable per a la majoria de les espècies d'arbustos. Aquesta data coincideix amb el període de falta d'aportacions d'aigua descrit prèviament. L'efecte d'aquesta falta d'aigua i la resposta de les diferents espècies es veu influenciada per la irradiació rebuda durant aquesta època. La temperatura del *Viburnum tinus* en condicions de sol es va disparar fins al seu màxim (41 °C) seguint una tendència ascendent des dels inicis de la falta de reg. Les altres espècies d'arbust, i el *Viburnum tinus* ombrejat pels plataners, van respondre de forma més moderada i ho van fer amb retard respecte a l'arbust assolellat. Aquest fet ens indica que en les condicions més desfavorables (alta exposició al sol durant el mes de més irradiació), una falta d'aigua té una resposta molt ràpida per part de la vegetació, essent aquesta mateixa vegetació més resistent als períodes de falta d'aigua quan es troba en ambients parcial i totalment ombrívols.

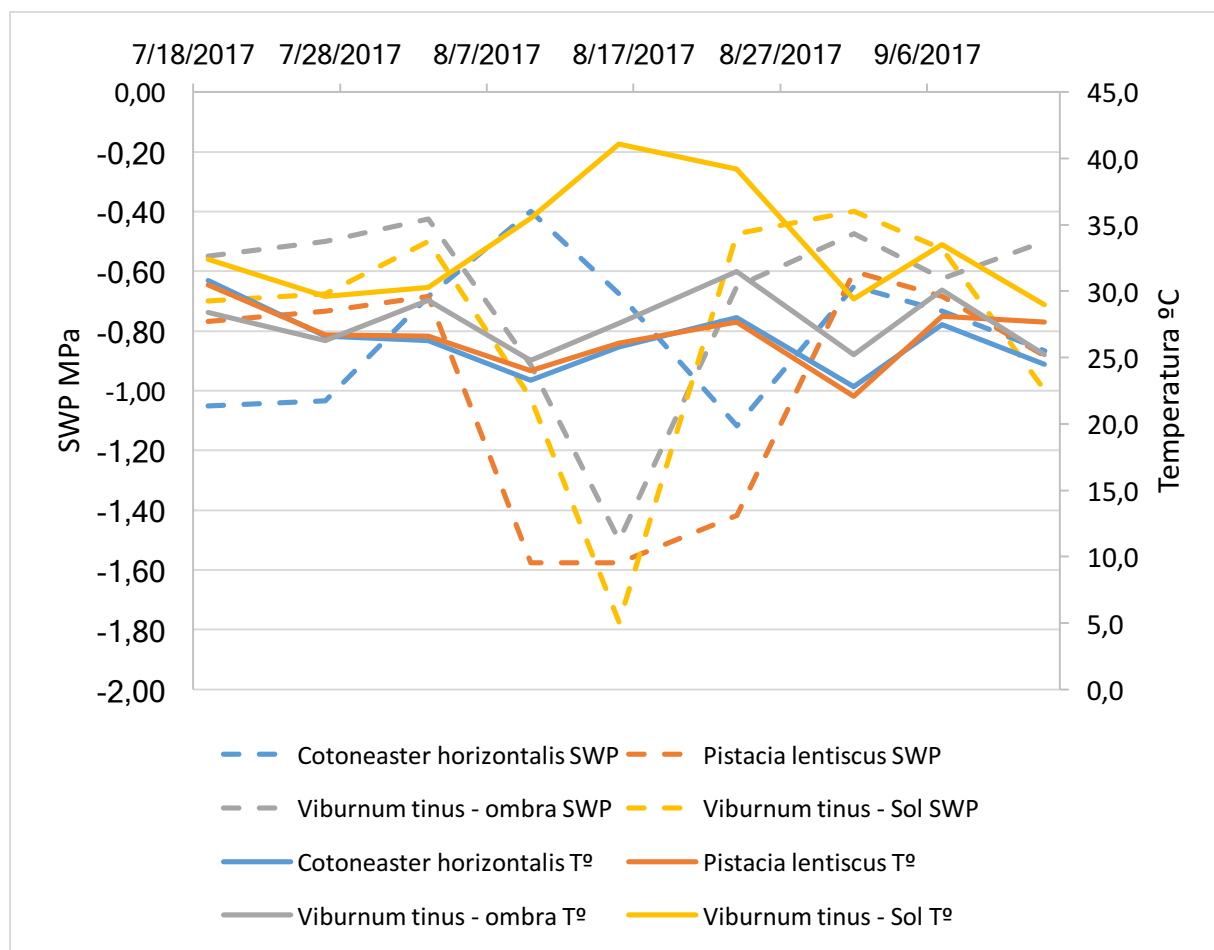


Figura 8. Gràfica de comparació entre SWP i Temperatura mitjana de la vegetació per a les espècies arbustives

Aquesta situació d'absència d'aigua durant les dues primeres setmanes d'Agost, va permetre estudiar l'adaptació de les diferents espècies a l'estrès hídric, així com establir unes línies base per a l'estimació dels coeficients de consum de les diferents espècies.

La introducció dels sensors tèrmics per tal de poder monitoritzar l'estat hídric de les espècies és una via a estudiar en el futur. Degut a la poca variabilitat climàtica que s'ha tingut en la zona monitoritzada, els resultats no poden ser extrapolats a altres àrees sense fer una prèvia calibració, a més els models han de ser calculats per a cadascuna de les espècies en diferents situacions d'estrès hídric i condicions climàtiques.

3.3. COEFICIENTS DE CONSUM DE LES ESPÈCIES

Per tal de poder calcular uns coeficients de cultiu ajustats caldria disposar de les dosis de reg reals en cada una de les zones estudiades. La instal·lació de comptadors volumètrics d'aigua tot i estar programada no es va poder dur a terme ja que requeria modificar uns capçals de reg difícilment manipulables. Donades les condicions de les instal·lacions es va prendre la decisió de no realitzar la instal·lació per no posar en risc el funcionament de la mateixa.

Per tal motiu es va procedir a utilitzar una altra aproximació, per estimar els coeficients de consum màxims per a les espècies objecte d'estudi. La metodologia emprada considera el contingut volumètric d'aigua al sòl (dades de sondes d'humitat), dades d'estat hídric de planta i dades meteorològiques. L'estudi del contingut volumètric d'aigua al sòl, així com la seva evolució en el temps, permet estimar els temps i dies de reg, i conjuntament amb les dades d'estat hídric i evapotranspiració de referència obtenir els coeficients de consum anteriorment esmentats.

La Figura 9 mostra l'evolució del contingut volumètric d'aigua al sòl en la zona gespitosa C3 exposada al Sol. Segons s'observa en el gràfic, durant la darrera quinzena del mes d'agost i la primera del mes de setembre, cada pols de reg proporcionat tenia una durada aproximada de 45 minuts. Aquest fet però ve donat pel període de registre del *datalogger*, que recull dades promig cada 15 minuts. Per aquest fet, es considera el reg teòric de 40 minuts (programador SAMCLA 38, EV2)

com a vàlid, el que significa que cada un d'ells equivalia a una dosi de reg de 8,35 mm (considerant una pluviometria del sistema de reg de 12,53 mm/h).

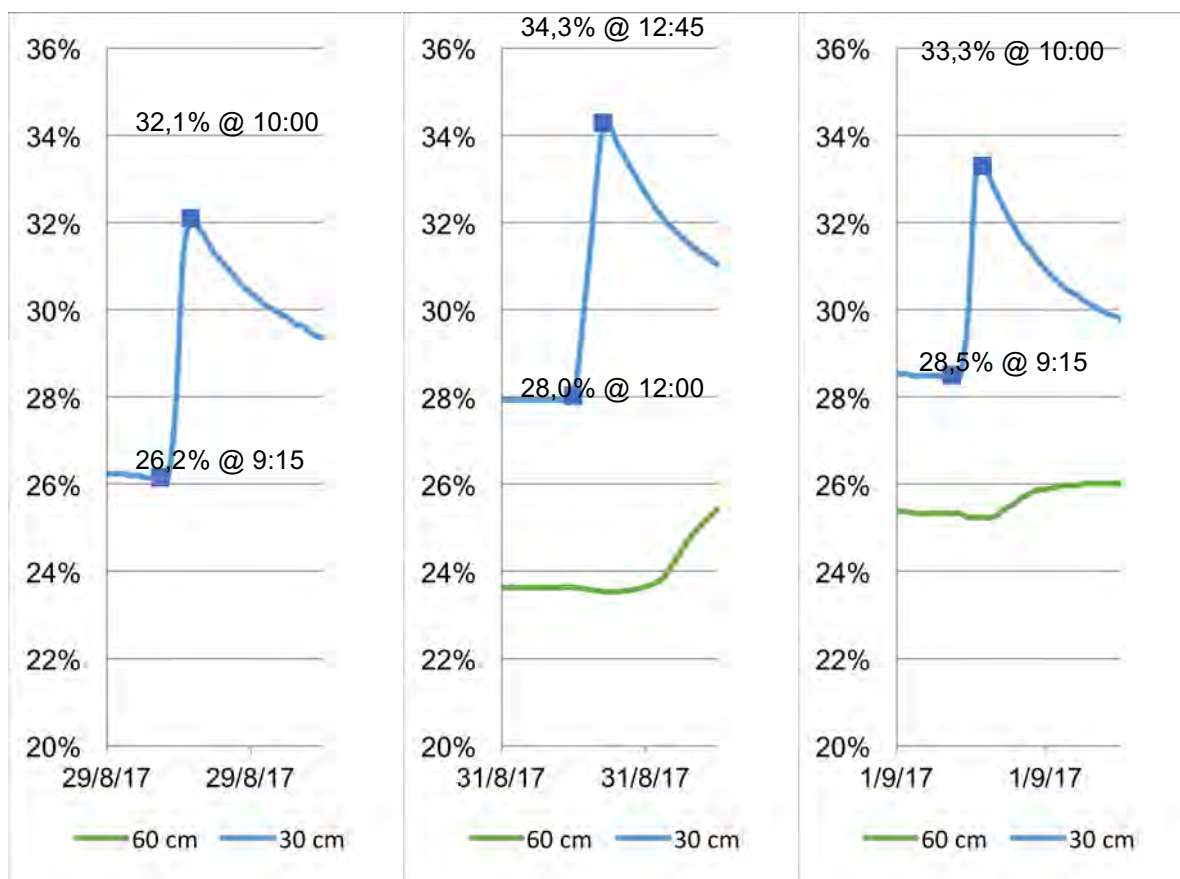


Figura 9. Pulsos de reg registrats els dies 29/8, 31/08 i 01/09 en la gespitosa C3 exposada al Sol

El següent pas consisteix en analitzar el comportament del contingut d'aigua al sòl en les diferents profunditats. Per aquest motiu, cal considerar que gran part de l'aigua s'absorbeix en els primers 60 cm de profunditat. Així, cal considerar per una banda la dosi de reg necessària perquè la sonda a més profunditat s'estabilitzi i es mantingui constant i en segon lloc l'evapotranspiració acumulada al llarg dels dies perquè el contingut a aquesta profunditat canviï de pendent. Aquest fenomen s'observa en la Figura 10 i permet aplicar el mètode del balanç hídric al sòl, una metodologia certificada i científicament utilitzada que permet calcular els coeficients de consum a partir de l'estudi del contingut volumètric d'aigua al sòl i de l'evapotranspiració de referència (Zotarelli *et al.*, 2015).

En la Figura 10 s'observa que són necessaris 5 polsos de reg de 40 minuts per tal de recarregar el perfil del sòl fins a 60 cm. En la mateixa gràfica s'observa com no hi ha pèrdues d'aigua per drenatge a partir dels 60 cm de profunditat. La dosi de reg aportada en el darrer pols de reg és de 8,35 mm. Entre que el perfil del sòl a 60 cm s'estabilitza i torna a disminuir el seu contingut (canvi de pendent) transcorren 3 dies. L'ETo acumulada durant aquests 3 dies va ser de 12,12 mm. El quocient entre la dosi de reg aportada i l'ETo ($8,35/12,12$) va ser de 0,6892 i un SWP promig de 0,7 MPa (potencial hídric que no indica cap mena d'estres). Per tant, es pot establir que el coeficient de consum durant aquests dies per a la gespa C3 exposada al Sol va ser de 0,69.

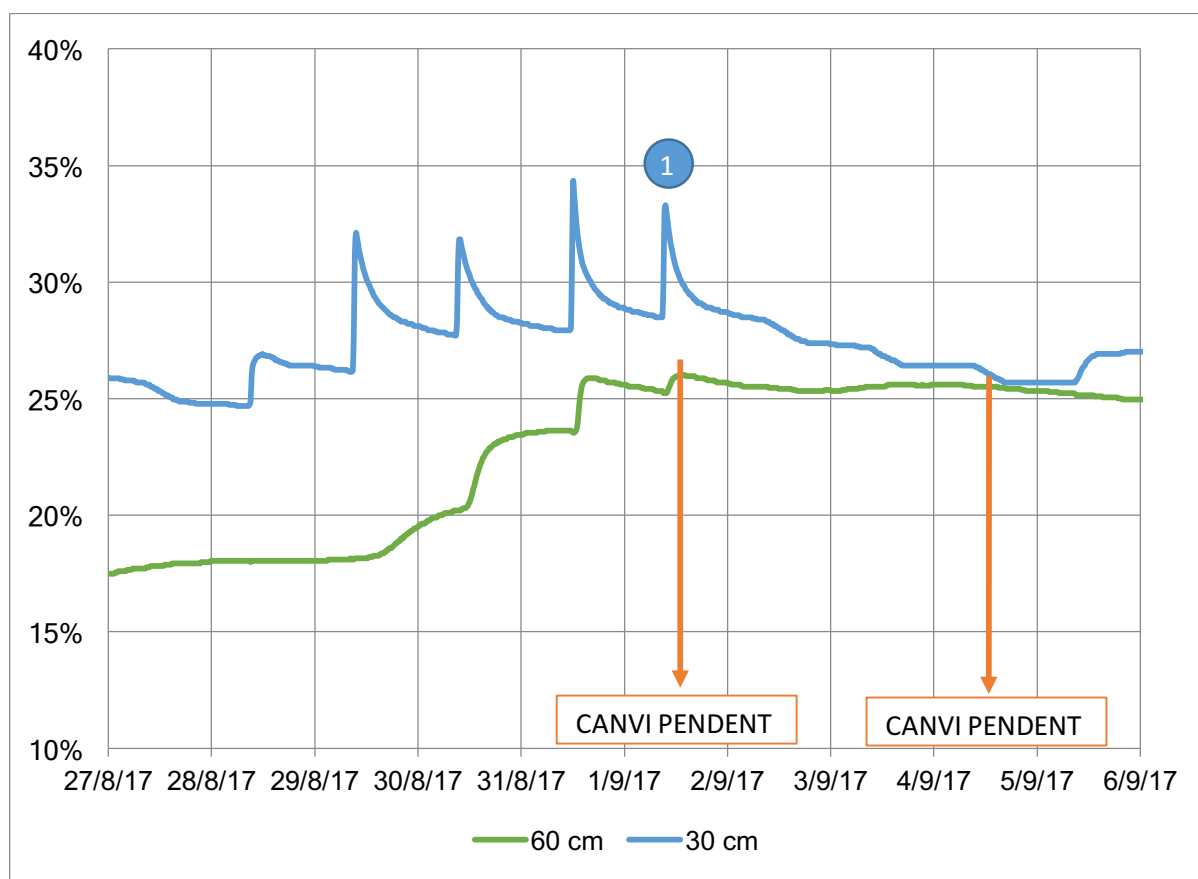


Figura 10. Evolució del contingut d'aigua al sòl entre el 27-08-17 i el 06-09-17 en la gespitosa C3.

Aquest procediment es va tornar a aplicar en diferents moments del cicle i es va obtenir diferents coeficients de consum. Entre els dies 21-07 i 05-08 va ser quan es van enregistrar els coeficients de consum màxims, obtenint valors d'entre 0,79 i

0,82, i un SWP promig de 0,75 MPa. D'aquesta manera, es pot establir que el coeficient de consum màxim de la C3 exposada al Sol va ser de 0,82 (Taula 2).

Aquest mateix procediment va ser realitzat en la C3 exposada a l'ombra a partir de les dades de l'estació de seguiment d'humitat al sòl instal·lada en la mateixa zona. En aquest cas però calia considerar per al càlcul que els polsos de reg en la zona de la C3 exposada a l'ombra eren de 30 minuts i en cada un d'ells la dosi de reg aportada era de 6,27 mm. El coeficient de consum màxim observat va ser de 0,65. No es van disposar de dades de reg de la zona on estava ubicada la C4, motiu pel qual no s'ha pogut calcular els coeficients de consum en aquesta zona.

Taula 2. Coeficients de consum promig i màxims per gespitoses durant el període de l'estudi calculats a partir del mètode del balanç hídric al sòl. El consum màxim diari s'obté a partir del producte entre ETo màxima (6,09 mm/dia) i Kc màxima. El consum mínim diari s'obté a partir del producte entre ETo promig (4,37 mm/dia) i Kc mínima.

Espècie	Kc promig	Kc màxima	Kc mínim	Consum màx. diari	Consum mín. diari
C3 exposada al Sol	0,75	0,82	0,64	4,81 mm/dia	2,80 mm/dia
C3 exposada a l'ombra	0,61	0,65	0,46	3,84 mm/dia	2,01 mm/dia
C4 exposada al Sol	0,50*	0,55*	0,35*	3,35 mm/dia	1,53 mm/dia

* Kc de de gespa C4 segons literatura (FAO 56) adaptat a la zona d'estudi.

A banda d'aquest estudi s'ha realitzat també un balanç del contingut d'aigua al sòl en els primers 60 cm de profunditat, segons metodologia científica descrita per Castel *et al.* (2007). Aquest mètode té en compte les entrades d'aigua al sòl (reg i pluviometria efectiva) i les sortides (evapotranspiració de cultiu i drenatge). El contingut inicial d'aigua al sòl es calcula a partir de les dades obtingudes amb els sensors i s'expressen en mm. La dosi de reg s'obté a partir de les dades subministrades per BCASA i ha estat contrastada amb les dades de les sondes d'humitat, considerant polsos de reg de 40 minuts (8,35 mm per pols). La pluja s'obté de les dades de l'estació meteorològica instal·lada al Viver Tres Pins. Es considera com a pluviometria efectiva aquella fracció de pluja que arriba a la zona radicular; en aquest cas, es tenen en compte les pluges superiors a 10 mm i es considera un 80% del volum de les mateixes. En aquest cas, les pluges eren gairebé menyspreables en l'època en què es va realitzar l'estudi. L'evapotranspiració de cultiu (ETc) és

equivalent al producte entre l'evapotranspiració de referència (E_{To} , en mm/dia) i el coeficient de consum (K_c). L'equació emprada per a l'estimació del coeficient de consum (K_c) considera que el diferencial de la variació del contingut d'aigua al sòl entre un dia i l'altre es correspon al consum d'aigua de l'espècie en qüestió, ja que s'ha pogut constatar que no es van registrar pèrdues d'aigua per drenatge més enllà dels 60 cm de profunditat. Aquest fet és important, ja que en el balanç es considerarà el contingut d'aigua al sòl en els primers 60 cm de profunditat.

El coeficient de consum d'aigua (K_c) promig obtingut durant tot el període d'estudi ha estat de 0,7498 per a la gespitosa C3 exposada al Sol, i de 0,6107 per a la C3 exposada a l'ombra. La Figura 11 mostra la correlació lineal entre el contingut real d'aigua al sòl (mm) en els primers 60 cm de profunditat i el contingut d'aigua al sòl (mm) simulat, tenint en compte els coeficients de consum aplicats. Com s'observa, tant l'ajust a la recta de regressió ($R^2=0,99$) com el pendent de l'equació de la recta de regressió ($b = 1,00$) validen els coeficients de consum calculats a través d'aquest mètode (balanç d'aigua al sòl).

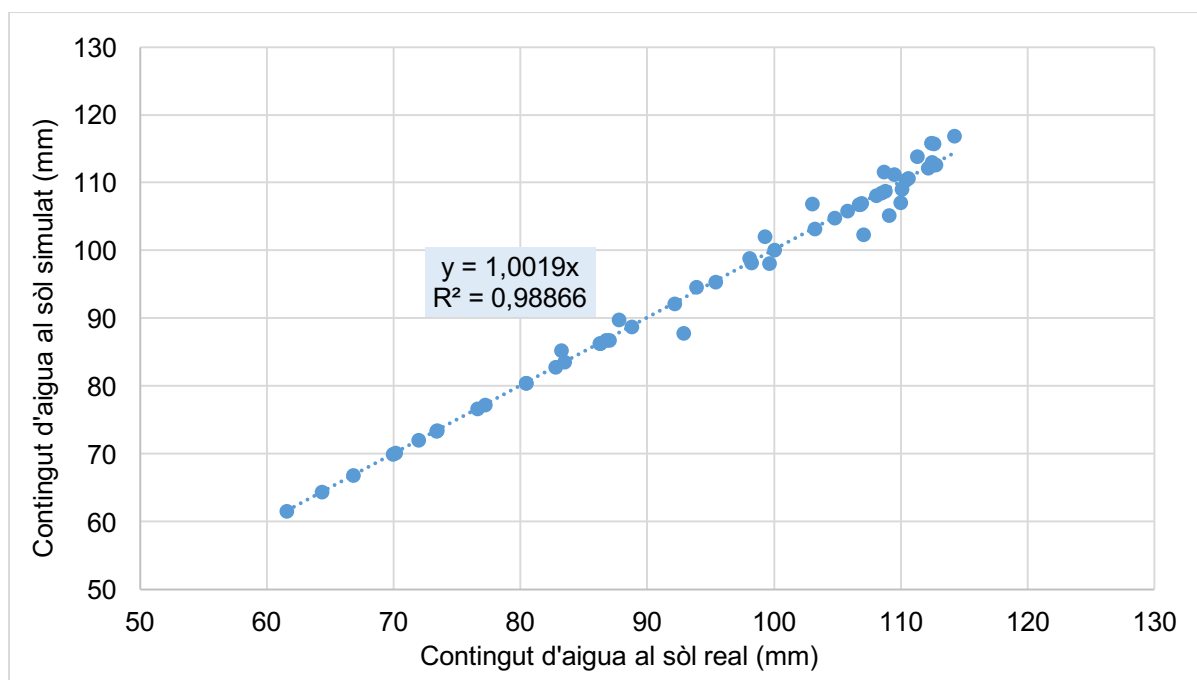


Figura 11. Correlació lineal entre contingut real d'aigua al sòl (60 cm) i contingut simulat d'aigua al sòl (60 cm) en la gespitosa C3 en mm.

L'estudi del balanç hídric a partir del mètode descrit per Castel *et al.* (2007) durant el període d'estrès hídric proporciona uns coeficients de consum denominats

com a mínims, que permet calcular uns consums hídrics mínims. El consum mínim és aquella dosi d'aigua que caldria dotar certa espècie per tal que aquesta no experimentés dèficit hídric i no mostrés símptomes relacionats amb aquest (necrosis, defoliacions, etc.). Cal considerar que els coeficients de consum mínims que es presenten en aquest estudi s'han calculat en el període de màxima demanda hídrica i que no són aplicables durant tot el cicle anual.

En el cas de les gessutoses estudiades, els K_c mínims i consums associats que s'estableixen són els mostrats en la Taula 2. Tot i així, des d'un punt de vista pràctic, caldria considerar el coeficient de consum promig per tal de realitzar una programació òptima del reg, i no pas uns coeficients de consum mínims. Aquests però, poden ser utilitzats com a nivells llindar, per sota dels quals es podria experimentar dèficit hídric amb tota probabilitat.

En el cas d'arbres i arbusts, per tal de calcular el coeficient de consum màxim, es va utilitzar el quocient donat entre la dosi de reg teòrica a la zona on estaven ubicats i l'evapotranspiració de referència acumulada durant el període en que s'observava un estat hídric òptim. El 02-08 l'estat hídric de les espècies estudiades era òptim ($SWP = 0,7$ MPa, promig) tot i coincidir en el període de demanda evapotranspirativa màxima. L'estudi de les dades fisiològiques assenyalava que la dosi de reg era òptima en aquestes dates i per tant vàlida l'obtenció del coeficient de consum màxim de les espècies en aquest període.

A mode d'exemple, es procedeix al càlcul del coeficient de consum per *Pistacia lentiscus*. El 02-08 el potencial hídric de tija per a l'espècie assenyalada va ser de 0,7 MPa, coincidint amb una setmana d'alta demanda evapotranspirativa. La setmana del 31-07 a 06-08 l'evapotranspiració de referència (ET_o) registrada va ser de 34,25 mm/setmana, i la dosi de reg aportada de 18,83 mm. Per tant, es pot establir que el coeficient de consum durant el període de màxima demanda (K_c màxim) va ser de 0,55, el SWP dels arbusts en aquest període de temps estava al voltant de 0,7 MPa, que al igual que las C3 no indica estrès hídric. Els coeficients de consum per les espècies arbustives són iguals ja que les dades que s'utilitzen en aquest balanç són les mateixes en tots ells (menys en *Viburnum tinus*, amb una dosi de reg de 25,06 mm). Tot i així, si s'observa la Figura 4 s'observa com existeix un comportament diferencial entre ells i es podria assenyalar que, d'entre ells, els individus de

Cotoneaster horizontalis presentaven un millor estat hídric, el que suggereix que el coeficient de consum màxim es podria reduir en aquesta espècie.

Taula 3. Coeficients de consum promig i màxims per arbres i arbusts durant el període de l'estudi calculats a partir del mètode del balanç hídric. El consum màxim diari s'obté a partir del producte entre ETo màxima (6,09 mm/dia) i Kc màxima. El consum mínim diari s'obté a partir del producte entre ETo promig (4,37 mm/dia) i Kc mínima.

ESPÈCIES ARBUSTIVES				
	<i>Viburnum tinus</i>		<i>Cotoneaster horizontalis</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>
	SOL	OMBRA		
Kc promig	0,51	0,43	0,43	0,43
Kc màxim	0,73	0,55	0,55	0,55
Kc mínim	0,40	0,35	0,35	0,35
Consum mínim (mm/dia)	1,75	1,53	1,53	1,53
Consum màxim (mm/dia)	4,45	3,35	3,35	3,35
ESPÈCIES ARBÒRIES				
	<i>Pinus pinea</i>		<i>Platanus x hispanica</i>	<i>Cercis siliquastrum</i>
Kc promig	0,51		0,51	0,51
Kc màxim	0,73		0,73	0,73
Kc mínim	0,40		0,40	0,40
Consum mínim (mm/dia)	1,75		1,75	1,75
Consum màxim (mm/dia)	4,45		4,45	4,45

Per al càlcul del coeficient de consum promig s'han tingut en compte les dades de tot el període d'estudi, a excepció del període considerat d'estrès hídric. En el cas dels arbres, s'estipula un coeficient de consum màxim de 0,73 per a tots ells, donat que la dosi de reg proporcionada (25,06 mm) i la demanda evapotranspirativa (34,25) va ser la mateixa en tots ells. Tot i així, les dades d'estat hídric ens mostren diferències entre ells, suggerint que tot i rebre la mateixa dosi de reg, els consums hídrics eren diferents entre ells. D'aquesta manera, es pot establir que el coeficient de consum estimat per l'espècie *Cercis siliquastrum* estigui subestimat, i que aquest sigui superior a 0,73.

El càlcul dels coeficients de consum hídric (Kc) per espècies és un factor important a l'hora de planificar, dissenyar i gestionar els sistemes de reg d'un parc o jardí, però més enllà dels valors per espècie cal considerar els coeficients promig entre elles, ja que, molt sovint, es disposen dins de la mateixa àrea o sector de reg. En aquest cas cal tenir en compte que no es realitzarà un sumatori dels coeficients

de consum de les espècies presents sinó que el resultat resulta ser més aviat un producte dels mateixos. Així, si dins del mateix sector de reg disposem d'una gespitosa C3 amb K_c de 0,7 i d'una tanca arbustiva amb K_c de 0,5, podríem suposar el coeficient de consum pel sector de reg estarà al voltant de 0,6. Cal considerar en aquest cas, que les espècies presents en la majoria de parcs i jardins Mediterranis suporten més bé el dèficit hídric que l'excés d'aigua.

El coeficient de consum mínim permet estimar el consum hídric mínim d'arbres i arbustos en un llinar pròxim a l'estrès hídric. D'aquesta manera permet estimar una dosi mínima d'aigua per tal que no es facin patents els símptomes d'estrès hídric. De forma general, es pot considerar que per aquelles espècies arbòries i arbustives exposades al Sol la dotació mínima d'aigua seria d'1,75 mm/dia; i d'1,53 per aquelles espècies arbustives en condicions d'ombra permanent. Aquestes dotacions d'aigua són orientatives i cal recordar que per a una correcta gestió del reg caldria utilitzar els coeficients de consum promig, i no pas els mínims. Tot i així, en una situació d'emergència de dèficit hídric, ens mostrarien el llinar de dotació d'aigua que no caldria superar per a no fer patents símptomes irreversibles d'estrès hídric.

4. RECOMANACIONS DE GESTIÓ DEL REG

El present informe proporciona els coeficients de consum (K_c) màxim i promig per les diferents espècies objecte d'estudi, així com el consum màxim per espècie en mm/dia. Aquestes dades es poden emprar per finalitats diferents. Així, des d'un punt de vista de planificació i disseny del reg caldrà emprar les dades de consum màxim, mentre que des d'un punt de vista de programació del reg es poden utilitzar les dades promig. Cal tenir en compte però, que tant la durada de l'estudi com l'àmbit geogràfic del mateix ha estat molt limitat, pel que per tal de donar unes directives de reg més ajustades caldria realitzar un estudi de més llarga durada. Tot i així, els resultats proporcionats en l'estudi responen a la demanda inicial plantejada.

Durant el transcurs de l'estudi, es van observar alguns factors inherents a la gestió del reg de parcs i jardins que es detallen a continuació:

1. El sistema de reg dels parcs i jardins objecte d'estudi presentaven una pluviometria del sistema de reg molt variable, donant lloc a una baixa

uniformitat del sistema de reg. És important disposar d'una mateixa pluviometria del reg, com a mínim dins del mateix sector de reg, ja que el cas contrari dificulta molt una correcta programació de reg. De la mateixa manera, és important disposar d'una auditoria contínua i actualitzada de la uniformitat de tots els sistemes de reg per tal de detectar possibles incidències que es puguin resoldre a través de canvis en la programació.

2. Existeix la possibilitat de realitzar un seguiment en continu i automatitzat de l'evolució del contingut d'aigua al sòl. Aquest seguiment podria donar suport a les tasques de programació del reg, permetent ajustar-lo a les necessitats hídriques reals. A banda d'això, es podria utilitzar com a sistema d'avís en cas d'una mal funció del sistema de reg, o d'una falta d'atenció de la zona per part dels operaris.
3. Durant l'estudi es va realitzar un seguiment de l'estat hídric de les espècies, i es va observar un període on les espècies van estar sotmeses a un dèficit hídric important, observant fins i tot símptomes de defoliació acusada en algunes d'elles (*Platanus x hispànica*, *Cercis siliquastrum*). Després d'aquest període d'estrès les espècies es van recuperar però s'observava un excés en la dosi de reg aplicada. És possible realitzar una programació de reg més ajustada, que permeti el bon manteniment de les espècies vegetals presents ens els parcs i jardins amb l'ús ajustat de la dosi d'aigua, permetent incrementar l'eficiència de reg.
4. A partir de l'ús de sondes d'humitat i de dades meteorològiques locals es pot realitzar el càlcul de coeficients de consum mitjançant la metodologia del balanç hídric. En aquest cas, i des d'un punt de vista pràctic, resultaria més interessant estimar els coeficients de consum per comunitats vegetals o sectors de reg, més que no pas realitzar-ho per espècies.
5. És important realitzar una bona programació de reg, on no es sotmetin les plantes a llargs períodes sense reg, como el que va succeir del 03-08-2017 al 18-08-2017.

ANNEX



Figura 1. Estació meteorològica instal·lada al Viver Tres Pins.



Figura 2. Instal·lació de l'estació de seguiment de la humitat del sòl a la gespa C3 zona Sol, Jardins Hortes de San Bertràn.



Figura 3. Cambra Scholander utilitzada per la mesura de l'estat hídric en arbres i arbusts.



Figura 4. Embossament previ a la mesura del potencial hídic de tija en *Pistacia lentiscus*.T

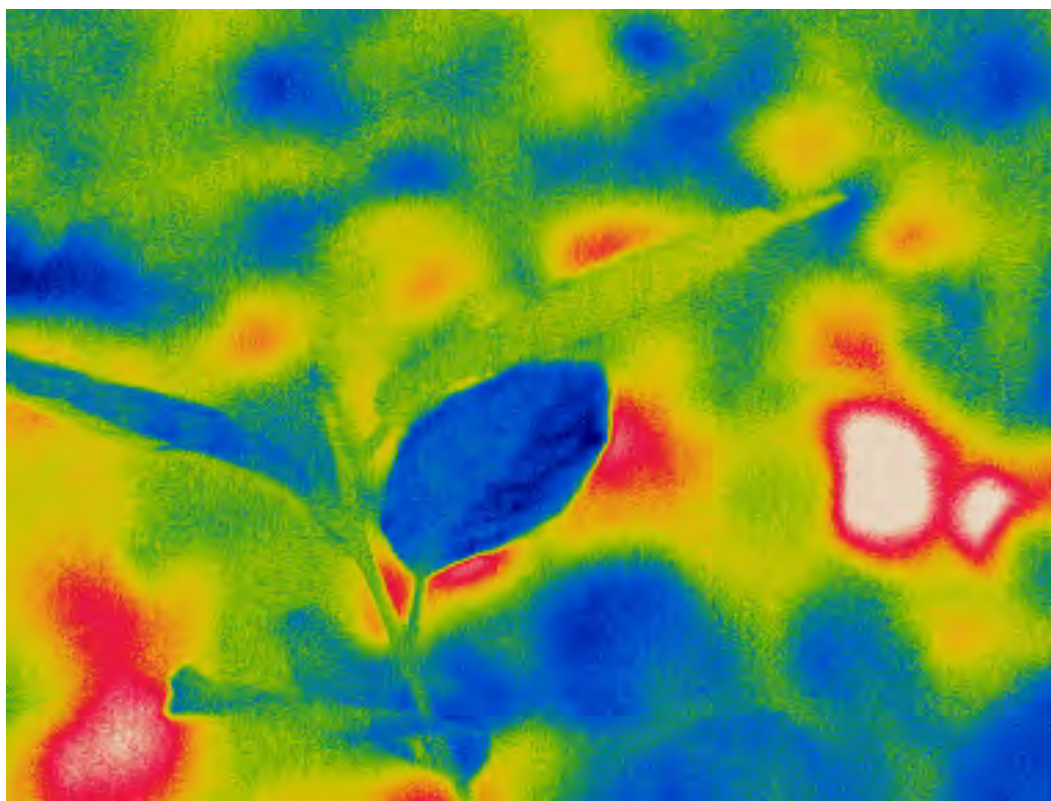


Figura 5. Imatge tèrmica del detall de la fulla de *Viburnum Tinus* al sol (temperatura de la fulla 40,6 °C)

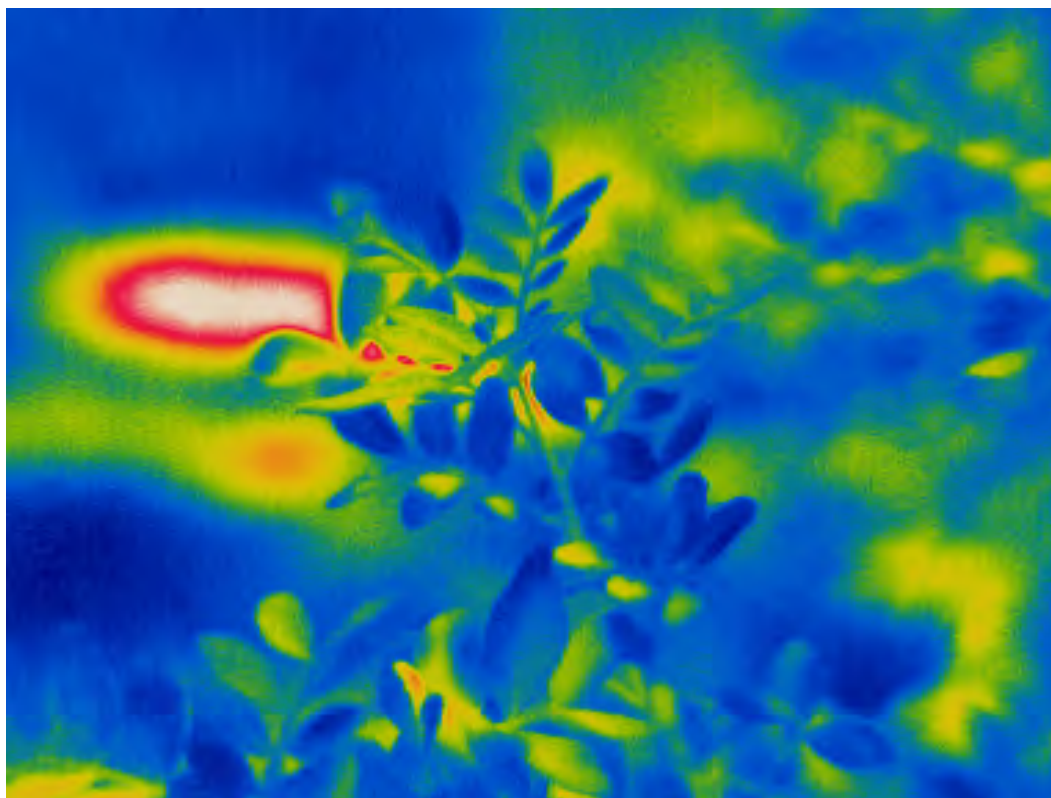


Figura 6. Imatge tèrmica del detall de la fulla de *Pistacia Lentiscus* (temperatura de la fulla 30,3 °C)

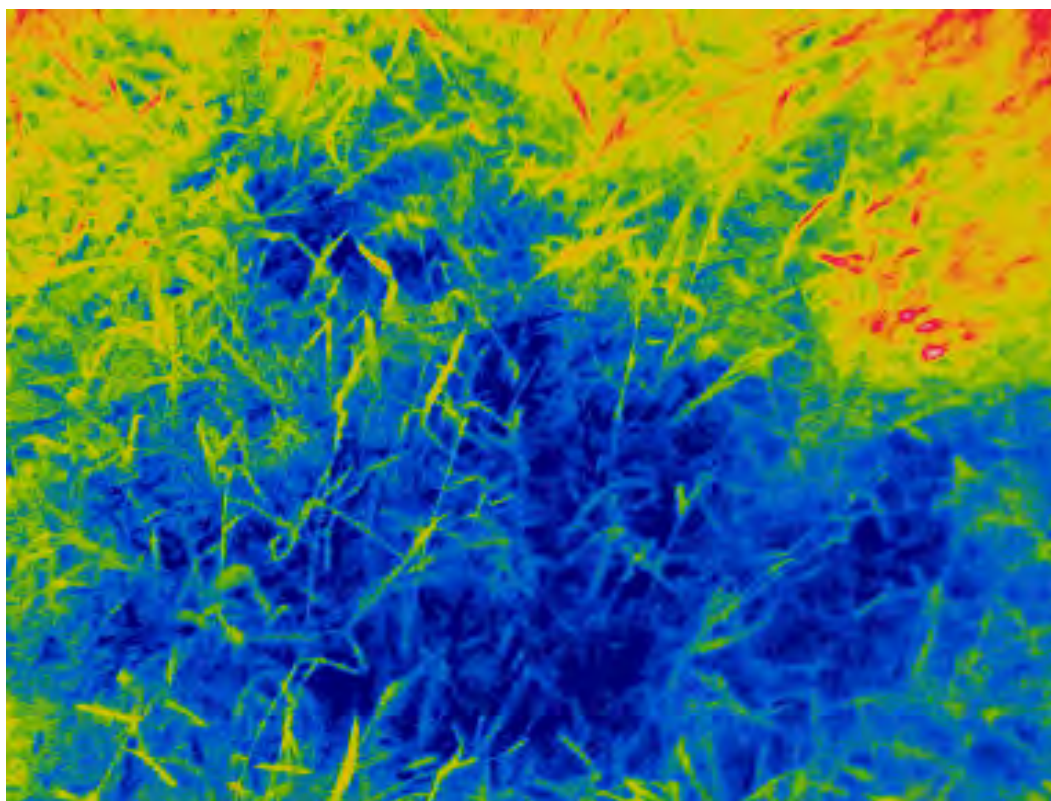


Figura 7. Imatge tèrmica de la gespa C4 en condicions d'ombra (temperatura mitjana 27,0 °C)